

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-133527

(43)Date of publication of application : 09.05.2003

(51)Int.Cl.

H01L 27/105  
H01L 43/08

(21)Application number : 2001-325801

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 24.10.2001

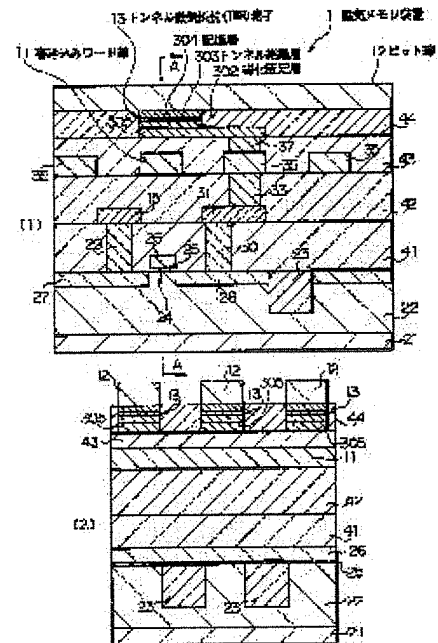
(72)Inventor : TANAKA YASUSHI  
MOTOYOSHI MAKOTO

## (54) MAGNETIC MEMORY, WRITING METHOD AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a low power-consumption magnetic random access memory which makes TMR elements easy to invert their magnetization directions in a memory layer, thereby reducing current consumption required for writing.

**SOLUTION:** A nonvolatile magnetic memory 1 having a TMR elements 13 composed of a ferromagnetic magnetization fixed layer 302, a memory layer 304 and a tunnel insulation layer 303 inserted between the layers 302, 304 stores information, utilizing the effect that the resistance value of the element changes depending on whether spinning directions are parallel or antiparallel in the ferromagnetic material. At least a region facing the TMR elements 13 on at least one of a bit line 12 and a write word line 11 mutually crossing at two levels between which the TMR elements 13 locate is made of high-melting point/high resistance metal.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	30.09.2004
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	abandonment
[Date of final disposal for application]	27.06.2007
[Patent number]	
[Date of registration]	
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-133527

(P2003-133527A)

(43) 公開日 平成15年5月9日(2003.5.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 27/105  
43/08

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08  
27/10

サーチコード<sup>\*</sup>(参考)

Z 5 F 0 8 3  
4 4 7

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2001-325801(P2001-325801)

(22) 出願日 平成13年10月24日(2001.10.24)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社  
東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 田中 寧

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(72) 発明者 元吉 真

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(74) 代理人 100086298

弁理士 船橋 國訓

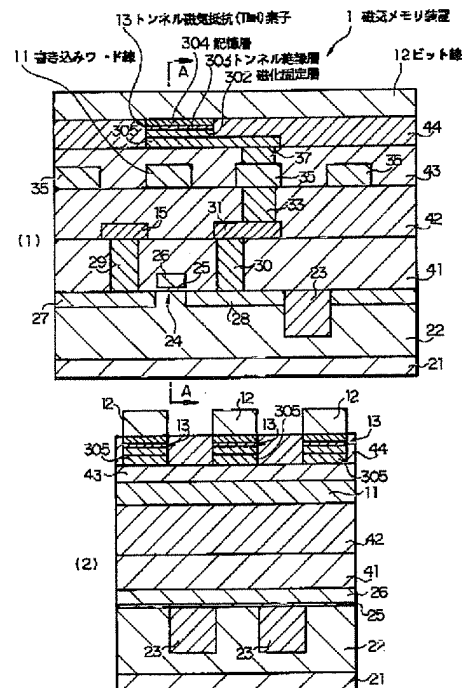
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気メモリ装置、その書き込み方法およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 TMR素子の記憶層における磁化の方向が反転しやすくなるようにして、書き込みに要する消費電流を抑え、低消費電力の磁気ランダムアクセスメモリの提供を図る。

【解決手段】 トンネル絶縁層303を強磁性体の磁化固定層302と記憶層304とで挟んでなるTMR素子13を有するもので、強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置1において、TMR素子13を間にして立体的に交差するように配置されるビット線12および書き込みワード線11のうちの少なくとも一方における少なくともTMR素子13に対向する領域は、高融点・高抵抗金属で形成されているものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置において、

前記トンネル磁気抵抗素子を間にして立体的に交差するように配置されるビット線および書き込みワード線のうちの少なくとも一方における少なくとも前記トンネル磁気抵抗素子に対向する領域は、高融点・高抵抗金属で形成されていることを特徴とする磁気メモリ装置。

【請求項2】 前記高融点・高抵抗金属は、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタン、トリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなることを特徴とする請求項1記載の磁気メモリ装置。

【請求項3】 トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の書き込み方法において、

前記トンネル磁気抵抗素子の少なくともその周囲の一部分を加熱することにより、前記トンネル磁気抵抗素子自体の温度を高め、反転磁化を低下させることを特徴とする磁気メモリ装置の書き込み方法。

【請求項4】 前記加熱は、前記トンネル磁気抵抗素子の少なくともスピンを反転させる記憶層の温度を高めることを特徴とする請求項3記載の磁気メモリ装置の書き込み方法。

【請求項5】 前記トンネル磁気抵抗素子の少なくともその周囲の一部分を加熱するには、前記トンネル磁気抵抗素子を間にして立体的に交差するように配置されるビット線および書き込みワード線のうちの少なくとも一方における少なくとも前記トンネル磁気抵抗素子に対向する領域を抵抗加熱体で形成し、前記抵抗加熱体に電流を流すことにより発生するジュール熱を利用することを特徴とする請求項3記載の磁気メモリ装置の書き込み方法。

【請求項6】 トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の書き込み方法において、前記トンネル磁気抵抗素子自体を加熱することにより、磁化反転磁界を低下させることを特徴とする磁気メモリ装置の書き込み方法。

【請求項7】 前記トンネル磁気抵抗素子自体を加熱する方法は、前記トンネル磁気抵抗素子に交番磁界をかけて渦電流によってジュール発熱させることを特徴とする

請求項6記載の磁気メモリ装置の書き込み方法。

【請求項8】 トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の製造方法において、

前記トンネル磁気抵抗素子を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線および書き込みワード線の少なくとも一部を、高融点・高抵抗金属で形成することを経とする磁気メモリ装置の製造方法。

【請求項9】 前記高融点・高抵抗金属は、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタン、トリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなることを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気メモリ装置、その書き込み方法およびその製造方法に関し、詳しくは、トンネル磁気抵抗素子を構成する強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記録する不揮発性の磁気メモリ装置、その書き込み方法およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】情報通信機器、特に携帯端末などの個人用小型機器の飛躍的な普及にともない、これを構成するメモリ素子やロジック素子等の素子には、高集積化、高速化、低消費電力化など、一層の高性能化が要求されている。特に不揮発性メモリはユビキタス時代に必要不可欠の素子と考えられている。

【0003】例えば、電源の消耗やトラブル、サーバーとネットワークが何らかの障害により切断された場合であっても、不揮発性メモリは個人の重要な情報を保護することができる。そして、不揮発性メモリの高密度化、大容量化は、可動部分の存在により本質的に小型化が不可能なハードディスクや光ディスクを置き換える技術としてますます重要になってきている。

【0004】また、最近の携帯機器は不要な回路ブロックをスタンバイ状態にしてでき得る限り消費電力を抑えようと設計されているが、高速ネットワークメモリと大容量ストレージメモリを兼ねることができない不揮発性メモリが実現できれば、消費電力とメモリとの無駄を無くすることができる。また、電源を入れると瞬時に起動できる、いわゆるインスタント・オン機能も高速の大容量不揮発性メモリが実現できれば可能になってくる。

【0005】不揮発性メモリとしては、半導体を用いたフラッシュメモリや、強誘電体を用いたFRAM (Ferroelectric Random Access Memory) などがあげられる。しかしながら、フラッシュメモリは、書き込み速度

が $\mu$ 秒の桁であるため遅いという欠点がある。一方、FRAMにおいては、書き換え可能回数が $10^{12} \sim 10^{14}$ で完全にスタティックランダムアクセスメモリやダイナミックランダムアクセスメモリに置き換えるには耐久性が低いという問題が指摘されている。また、強誘電体キャパシタの微細加工が難しいという課題も指摘されている。

【0006】これらの欠点を有さない不揮発性メモリとして注目されているのが、例えば「Wang et al., IEEE Trans. Magn. 33 (1997) p4498」に記載されているような、MRAM (Magnetic Random Access Memory) と呼ばれる磁気メモリであり、近年のTMR (Tunnel Magnetoresistance) 材料の特性向上により注目を集めるようになってきている。

【0007】MRAMは、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また磁気モーメントの回転により記録を行うために、書き換え回数が大であると予測されている。またアクセス時間についても、非常に高速であることが予想され、既に100MHzで動作可能であることが、R.Scheuerlein et al, ISSCC Digest of Papers (Feb. 2000) p128-129 で報告されている。また、TMR (Tunnel Magnetic Resistance) 効果により高出力が得られるようになった現在では、大きく改善されてきている。

【0008】上述の通り、高速化・高集積化が容易という長所を有するMRAMではあるが、書き込みは、TMR素子に近接させて設けられたビット線と書き込み用ワード線に電流を流し、その発生磁界によって行う。TMR素子の記録層(記憶層)の反転磁界は材料にもよるが、100e $\sim$ 2000eが必要であり、このときの電流は数十mAになる。これは消費電流の増大につながり、携帯機器の低消費電力化に対して大きな課題となる。また、高集積化の面からは、ビット線および書き込み用ワード線は、リソグラフィ技術から決定される最小線幅に近いサイズが要求される。仮に、ビット線幅/ワード線幅が0.6 $\mu$ mとして、配線の膜厚を500nmとすると、3MA/cm<sup>2</sup>になり、銅配線を用いた場合(実用電流密度: 0.5MA/cm<sup>2</sup>)もエレクトロマイグレーションに対する寿命は大きな課題となる。さらに微細化していくと、強磁性体の反転磁界は増加し、配線の次元も縮小しなければならないため、この配線信頼性の課題はより大きくなっていく。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、強磁性体/半導体/強磁性体を積層した積層体を製造する上で微細化が必要となるが、微細化を行うことにより、前述した通り、反転磁界が増大し、必要な書き込み電流が大きくなるため、消費電力の増大、配線の信頼性が問題になる。また、消費電力が少なくなるが、単位面積当たりのビット数が少なくなるという課題を有している。本発明

は、上記説明した課題を解決し、占有面積が少なく、消費電力の少ない磁気メモリ装置、その書き込み方法およびその製造方法を提供する。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するためになされた磁気メモリ装置、その書き込み方法およびその製造方法である。

【0011】本発明の磁気メモリ装置は、トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置において、前記トンネル磁気抵抗素子を間にして立体的に交差するように配置されるビット線および書き込みワード線のうちの少なくとも一方における少なくとも前記トンネル磁気抵抗素子に対向する部分は、高融点・高抵抗金属で形成されているものである。

【0012】上記磁気メモリ装置では、トンネル磁気抵抗素子を間にして立体的に交差するように配置されたビット線および書き込みワード線のうちの少なくとも一方における少なくともトンネル磁気抵抗素子に対向する部分が、高融点・高抵抗金属で形成されていることから、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、トンネル磁気抵抗素子も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げることができる。

【0013】本発明に係る第1の磁気メモリ装置の書き込み方法は、トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の書き込み方法において、前記トンネル磁気抵抗素子の少なくともその周囲の一部分を加熱することにより、前記トンネル磁気抵抗素子自体の温度を高め、反転磁化を低下させることにより書き込みを行う。

【0014】上記第1の磁気メモリ装置の書き込み方法では、トンネル磁気抵抗素子の少なくともその周囲の一部分を加熱することにより、トンネル磁気抵抗素子自体の温度を高め、反転磁化を低下させることにより書き込みを行うことから、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるできるので、書き込みが容易になる。

【0015】本発明に係る第2の磁気メモリ装置の書き込み方法は、トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の書き込み方法において、前記トンネル磁気抵抗素子自体を加熱することにより、磁化反転磁界を低下させることにより書き込みを行う。

【0016】上記第2の磁気メモリ装置の書き込み方法では、トンネル磁気抵抗素子自体を加熱することにより、磁化反転磁界を低下させることにより書き込みを行うことから、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるので、書き込みが容易になる。

【0017】本発明の磁気メモリ装置の製造方法は、トンネル絶縁層を強磁性体で挟んでなるトンネル磁気抵抗素子を有するもので、前記強磁性体のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記憶する不揮発性の磁気メモリ装置の製造方法において、前記トンネル磁気抵抗素子を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線および書き込みワード線の少なくとも一部を、高融点・高抵抗金属で形成する。

【0018】上記磁気メモリ装置の製造方法では、トンネル磁気抵抗素子を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線および書き込みワード線の少なくとも一部を、高融点・高抵抗金属で形成することから、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、トンネル磁気抵抗素子も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるので、磁気メモリ装置を形成される。

【0019】

【発明の実施の形態】まず、一般的なMRAM (Magnetic Random Access Memory) を、図2の主要部を簡略化して示した概略構成斜視図によって説明する。図2では、簡略化して示したため、読み出し回路部分の図示は省略されている。

【0020】図2に示すように、9個のメモリセルを含み、相互に交差する書き込みワード線11 (111、112、113) およびビット線12 (121、122、123) を有する。それらの書き込みワード線11とビット線12の交差領域には、磁気抵抗効果 (TMR) 素子13 (131~139) が配置されている。TMR素子13への書き込みは、ビット線12および書き込みワード線11に電流を流し、それから発生する合成磁界によってビット線12と書き込みワード線11との交差領域に形成されたTMR素子13の記憶層304 (詳細は図5参照) の磁化方向を磁化固定層302 (詳細は図5参照) に対して平行または反平行に行う。

【0021】図3に示すアステロイド曲線は、印加された容易軸方向磁界 $H_{EA}$  および困難軸方向磁界 $H_{HA}$  による記憶層磁化方向の反転しきい値を示している。アステロイド曲線外部に相当する合成磁界ベクトルが発生すると、磁界反転が生じる。アステロイド曲線内部の合成磁界ベクトルは、その電流双安定状態の一方からセルを反転させることはない。また、電流を流しているワード線およびビット線の交点以外のセルにおいても、ワード線もしくはビット線単独で発生する磁界が印加されるた

め、それらの大きさが一方反転磁界 $H_K$  以上の場合は、交点以外のセルの磁化方向も反転するので、合成磁界が斜線で示す部分401にある場合のみ、選択されたセルを選択書き込みが可能となる。

【0022】以上のように、MRAMのアレイでは、ビット線および書き込みワード線からなる格子の交点にメモリセルが配置されている。MRAMの場合、書き込みワード線とビット線とを使用することで、アステロイド磁化反転特性を利用し、選択的に個々のメモリセルに書き込むことが一般的である。

【0023】単一の記憶領域における合成磁化は、それに印加された容易軸方向磁界 $H_{EA}$  と困難軸方向磁界 $H_{HA}$  とのベクトル合成によって決まる。ビット線を流れる電流はセルに容易軸方向の磁界 ( $H_{EA}$ ) を印加し、書き込みワード線を流れる電流はセルに困難軸方向の磁界 ( $H_{HA}$ ) を印加する。

【0024】次に、上記図2によって説明したMRAMの原理回路を図4の回路図によって説明する。

【0025】図4に示すように、このMRAMの回路では、6個のメモリセルを含み、図2に対応する相互に交差する書き込みワード線11 (111、112) およびビット線12 (121、122、123) を有する。これらの書き込み線ワード線11とビット線12との交差領域には、記憶素子となるTMR素子13 (131、132、134、135、137、138) が配置され、さらに読み出しの際に素子選択を行うもので各記憶素子に対応して電界効果トランジスタ141、142、144、145、147、148が接続されている。さらに電界効果トランジスタ141、144、147にはセンス線151が接続され、電界効果トランジスタ142、145、148にはセンス線152が接続されている。

【0026】上記センス線151はセンスアンプ153に接続され、センス線152はセンスアンプ154に接続され、それぞれ素子に記憶された情報を検出する。また、書き込みワード線111の両端には、双方向の書き込みワード線電流駆動回路161、162が接続され、書き込みワード線112の両端には、双方向の書き込みワード線電流駆動回路163、164が接続されている。さらにビット線121の一端にはビット線電流駆動回路171が接続され、ビット線122の一端にはビット線電流駆動回路172が接続され、ビット線123の一端にはビット線電流駆動回路173が接続されている。

【0027】次に、磁気メモリ装置の基本構成を以下に説明する。まず、メモリセルの記憶素子となるトンネル磁気抵抗素子 (以下TMR素子と記す) を図5の斜視図により説明する。

【0028】図5に示すように、TMR素子13は、基本的には、磁化が固定されているもので強磁性体からなる磁化固定層302と磁化が比較的容易に回転するもの

で強磁性体からなる記憶層304とでトンネル絶縁層303を挟む構成を有している。

【0029】図5に示す一例では、支持基板311上に下地導電層312が形成され、その上に反強磁性体層305が形成されている。さらに、上記磁化固定層302、上記トンネル絶縁層303、上記記憶層304が順に積層されている。上記磁化固定層302は、第1の磁化固定層306と第2の磁化固定層308とを有し、この第1、第2の磁化固定層306、308との間に、磁性層が反強磁性的に結合するような導電体層307が配置されている。

【0030】上記記憶層304、上記第1の磁化固定層306、308は、例えば、ニッケル、鉄もしくはコバルト、またはニッケル、鉄およびコバルトのうちの少なくとも2種からなる合金のような、強磁性体からなる。

【0031】上記導電体層307は、例えば、ルテニウム、銅、クロム、金、銀等で形成されている。

【0032】上記第1の磁化固定層306は、反強磁性体層305と接する状態に形成されていて、これらの層間に働く交換相互作用によって、第1の磁化固定層306は、強い一方向の磁気異方性を有している。

【0033】上記反強磁性体層305は、例えば、鉄マンガン合金、ニッケルマンガン合金、白金マンガン合金、イリジウムマンガン合金、ロジウムマンガン合金、コバルト酸化物およびニッケル酸化物のうちの1種を用いることができる。

【0034】上記トンネル絶縁層303は、例えば、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化シリコン、窒化アルミニウム、窒化マグネシウム、窒化シリコン、酸化窒化アルミニウム、酸化窒化マグネシウムもしくは酸化窒化シリコンからなる。

【0035】上記トンネル絶縁層303は、上記記憶層304と上記磁化固定層302との磁氣的結合を切るとともに、トンネル電流を流すための機能を有する。これらの磁性膜および導電体膜は、主に、スパッタリング法によって形成される。トンネル絶縁層は、スパッタリング法によって形成された金属膜を酸化、窒化もしくは酸化窒化させることにより得ることができる。

【0036】さらに最上層にはトップコート膜313が形成されている。このトップコート膜313は、TMR素子13と別のTMR素子13とを接続する配線との相互拡散防止、接触抵抗低減および記憶層304の酸化防止という機能を有する。通常、窒化タンタル、タンタル、窒化チタン等の材料により形成されている。下地導電層312は、TMR素子と直列に接続されるスイッチング素子との接続に用いられるもので、上記反強磁性体層305を兼ねることも可能である。

【0037】上記構成のTMR素子13では、磁気抵抗効果によるトンネル電流変化を検出して情報を読み出すが、その効果は記憶層304と第1、第2の磁化固定層

306、308との相対磁化方向に依存する。

【0038】次に、本発明の磁気メモリ装置に係る一実施の形態を、一例として、前記図2および図4に対応するMRAMの単一セルの断面構成を示す図1の概略構成断面図によって説明する。なお、図1の(2)は図1の(1)のA-A線断面を示す。

【0039】図1に示すように、半導体基板(例えばp型半導体基板)21の表面側にはp型ウエル領域22が形成されている。このp型ウエル領域22には、トランジスタ形成領域を分離する素子分離領域23が、いわゆるSTI(Shallow Trench Isolation)で形成されている。上記p型ウエル領域22上には、ゲート絶縁膜25を介してゲート電極(ワード線)26が形成され、ゲート電極26の両側におけるp型ウエル領域22には拡散層領域(例えばN<sup>+</sup>拡散層領域)27、28が形成され、電界効果型トランジスタ24が構成されている。

【0040】上記電界効果型トランジスタ24は読み出しのためのスイッチング素子として機能する。これは、n型またはp型電界効果型トランジスタの他に、ダイオード、バイポーラトランジスタ等の各種スイッチング素子を用いることも可能である。

【0041】上記電界効果型トランジスタ24を覆う状態に第1の絶縁膜41が形成されている。この第1の絶縁膜41には上記拡散層領域27、28に接続するコンタクト29、30が形成されている。さらに第1の絶縁膜41上にはコンタクト29、30に接続するセンス線15、第1の配線31が形成されている。

【0042】上記第1の絶縁膜41上には、上記センス線15、第1の配線31等を覆う第2の絶縁膜42が形成されている。この第2の絶縁膜42には上記第1の配線1に接続するコンタクト33が形成されている。さらに上記第2の絶縁膜42上には、第2の配線35、書き込みワード線11が形成されている。

【0043】上記第2の絶縁膜42上には、上記書き込みワード線11、第2の配線35等を覆う第3の絶縁膜43が形成されている。この第3の絶縁膜43には、上記第2の配線35に接続するコンタクト37が形成されている。さらに上記第3の絶縁膜43上には、上記書き込みワード線11上方より上記コンタクト37の上端部に接続する接続層が反強磁性体層305により形成されている。

【0044】さらに、上記反強磁性体層305上で、上記書き込みワード線11の上方には、情報記憶素子13が形成されている。この情報記憶素子13は、前記図5によって説明したように、反強磁性体層305上に、第1の磁化固定層306と磁性層が反強磁性的に結合するような導電体層307と第2の磁化固定層308とを順に積層してなる磁化固定層302、トンネル絶縁層303、記憶層304、さらにキャップ層313を順に積層して構成されている。このTMR素子13を構成する材

料は、前記図5によって説明したような材料が用いられる。

【0045】上記第3の絶縁膜43上には上記反強磁性体層305、TMR素子13等を覆う第4の絶縁膜44が形成されている。この第4の絶縁膜44は表面が平坦化され、上記TMR素子13の最上層が露出されている。上記第4の絶縁膜44上には、上記TMR素子13の上面に接続するものでかつ上記書き込みワード線11と上記TMR素子13を間にして立体的に交差（例えば直交）するビット線12が形成されている。

【0046】上記磁気メモリ装置1では、上記書き込みワード線11のうち上記TMR素子13の下方に位置する部分が、高融点・高抵抗金属で形成されている。上記書き込みワード線11において、高融点・高抵抗金属で形成されている以外の部分は、例えばアルミニウム、アルミニウム合金、銅もしくは銅合金で形成されている。または、上記ビット線12のうち上記TMR素子13に接続する部分およびその近傍（例えば100nm以内）が高融点・高抵抗金属で形成されている。上記ビット線12において、高融点・高抵抗金属で形成されている以外の部分は、例えばアルミニウム、アルミニウム合金、銅もしくは銅合金で形成されている。または、上記構成の書き込みワード線11とビット線12の両方を用いることも可能である。

【0047】上記高融点・高抵抗金属としては、タングステンを用いることができる。このタングステンの他には、高融点・高抵抗金属である、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タンタル、チタン、トリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種もしくは複数種からなる合金を用いることも可能である。

【0048】上記構成の磁気メモリ装置1では、上記書き込みワード線11のうち上記TMR素子13の下方に位置する部分が、高融点・高抵抗金属で形成されていることから、書き込みワード線11に電流を流した場合には、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、TMR素子13も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるることができる。なお、文献（R.H.Koch et al., Phys.Rev.Lett.84 (2000)p.5419, J.Z.Sun et al., Joint Magnetism and Magnetic Material 8 (2001)）に、「磁化反転は温度を上げてアシストすると磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げる」と開示されているが、この文献には、本発明の磁気メモリ装置の書き込みワード線もしくはビット線の少なくとも一部を、ジュール発熱を起こしやすい高融点・高抵抗金属で形成することについては何ら記載も示唆もなされていない。

【0049】一方、上記ビット線12のうち少なくとも上記TMR素子13の上方に位置する部分が、高融点・

高抵抗金属で形成されている構成では、ビット線12に電流を流した場合には、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、TMR素子13も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるができる。なお、この構成では、記憶層304が加熱されやすいため、効率よく磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるることができる。

【0050】さらに、上記高融点・高抵抗金属で形成されている構成を有する上記書き込みワード線11と上記高融点・高抵抗金属で形成されている構成を有する上記ビット線12の両方が形成されている磁気メモリ装置では、さらにTMR素子13を加熱しやすくなるため、さらに効率よく磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるることができる。

【0051】次に、本発明における第1の磁気メモリ装置の書き込み方法に係る実施の形態を以下に説明する。

【0052】第1の磁気メモリ装置の書き込み方法は、一例として、以下のような構成を有する磁気メモリ装置を用いて行う。前記図1、図5によって説明したような構成、すなわち、トンネル絶縁層303を強磁性体からなる磁化固定層（第2の磁化固定層308）と強磁性体からなる記憶層304で挟んでなるTMR素子13を有し、このTMR素子13の下方に書き込みワード線11が配置され、このTMR素子の上面に接続しかつ書き込みワード線11と立体的に交差（例えば直交）するビット線12が備えられた構成の磁気メモリ装置である。

【0053】このような構成の磁気メモリ装置は、上記記憶層304のスピンの方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記録する。その際に、上記書き込みワード線11および上記ビット線12のうちの少なくとも一方を加熱することにより上記TMR素子13の特に記憶層304を加熱する。それによって、TMR素子13自体の温度が高められ、反転磁化が低下せられる。上記書き込みワード線11でTMR素子13を加熱する場合には、例えば上記書き込みワード線11の上記TMR素子13に対向している領域を、高融点・高抵抗金属材料で形成しておけばよい。もしくは、上記ビット線12でTMR素子13を加熱する場合には、例えば上記ビット線12の上記TMR素子13に対向している領域を、高融点・高抵抗金属材料で形成しておけばよい。上記高融点・高抵抗金属材料としては先に説明したような材料を用いることができる。

【0054】上記第1の磁気メモリ装置の書き込み方法では、TMR素子13の少なくともその周囲の一部分を加熱することにより、TMR素子13自体の温度を高め、反転磁化を低下させることにより書き込みを行うことから、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるができるので、書き込みが容易になる。

【0055】次に、本発明における磁気メモリ装置の第

2の書き込み方法に係る実施の形態を以下に説明する。

【0056】磁気メモリ装置の第2の書き込み方法は、一例として、以下のような構成を有する磁気メモリ装置を用いて行う。前記図1によって説明したような構成、すなわち、トンネル絶縁層303を強磁性体からなる磁化固定層302（第2の磁化固定層308）と強磁性体からなる記憶層304で挟んでなるTMR素子13を有し、このTMR素子13の下方に書き込みワード線11が配置され、このTMR素子の上面に接続しかつ書き込みワード線11と立体的に交差するビット線が備えられた構成の磁気メモリ装置である。

【0057】このような構成の磁気メモリ装置は、上記記憶層304のスピン方向が平行もしくは反平行によって抵抗値が変化することを利用して情報を記録する。その際に、TMR素子13自体に交番磁界をかけて渦電流を発生させ、その渦電流によってジュール発熱させることにより、上記TMR素子13自体を加熱する。すなわち、高周波誘導加熱によってTMR素子13を加熱する。その一例を、図6によって説明する。

【0058】図6に示すように、TMR素子13は、反強磁性体層305、第1の磁化固定層306と反強磁性的に結合される導電体層307と第2の磁化固定層308からなる磁化固定層302、トンネル絶縁膜303、記憶層304、高周波を印加することにより発熱する発熱層315、キャップ層313を順に積層してなるものである。上記発熱層315は、高周波を印加することにより発熱する、例えば鉄・シリコンのような抵抗の高い材料で構成される。

【0059】書き込みを行う際に、上記TMR素子13に高周波を印加する。それによって、磁性体（強磁性体層からなる第1の磁化固定層306、強磁性体層からなる第2の磁化固定層308、強磁性体層からなる記憶層304および高抵抗材料で構成される発熱層315）に高周波で変化する磁場により渦電流 $I_{sp}$ が発生し、ジュール熱で局所的にTMR素子13自体が加熱される。また、各磁性体自体が発熱するため、発熱層315は必ずしも必要ではないが、記憶層304の両面から記憶層304を加熱することができるので、発熱層315は形成しておくことが好ましい。なお、LSIの配線に用いられるアルミニウム、アルミニウム・銅合金、銅等は磁性を有しないため、高周波が印加されても発熱は起こさない。

【0060】上記第2の磁気メモリ装置の書き込み方法では、TMR素子13自体を高周波加熱することにより、磁化反転磁界を低下させることにより書き込みを行うことから、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SN}$ を下げることができるので、書き込みが容易になる。

【0061】次に、本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第1の実施の形態を、図7の製造工程断面図によって説明する。

【0062】まず、図示はしないが、半導体基板には、読み出しトランジスタを備えた読み出し回路、それを覆う第1の絶縁膜等が形成されている。そして図7の

(1)に示すように、第1の絶縁膜41上には第1の配線31、センス線（図示せず）等が形成されている。この第1の絶縁膜41上に、例えばテトラエトキシシランを原料に用いたプラズマCVD法により、上記第1の配線31、センス線（図示せず）等を覆う酸化シリコン（P-TEOS）膜421を例えば100nmの厚さに成膜し、次いで高密度プラズマCVD法により、酸化シリコン（HDP）膜422を例えば800nmの厚さに成膜し、さらに酸化シリコン（P-TEOS）膜423を例えば1200nmに厚さに成膜して、第2の絶縁膜42を形成する。その後、例えば化学的機械研磨によって、上記第1の配線31上に例えば700nmの厚さの膜厚を残すように、上記第2の絶縁膜42を研磨する。

【0063】次に、上記平坦化された上記第2の絶縁膜42上に、例えばプラズマCVD法により、エッチングストップ層47を、例えば窒化シリコン（P-SiN）膜を例えば20nmの厚さに成膜して形成する。その後、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、上記エッチングストップ層47にビアホールパターンを開口する。

【0064】次いで、上記ビアホールパターンを埋め込むように上記エッチングストップ層47上にP-TEOS膜を例えば300nmの厚さに成膜して、第3の絶縁膜43（431）を形成する。その後、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第3の絶縁膜431に配線溝49を形成するとともに上記第1の配線31に達するビアホール48を再び開口する。このエッチング工程は、窒化シリコンに対して酸化シリコンが選択的にエッチングされる条件で行う。

【0065】次いで、PVD（Physical Vapor Deposition）法によって、上記ビアホール48および上記配線溝49の各内面にバリア金属層を、例えば窒化チタン膜を20nmの厚さに堆積した後チタン膜を5nmの厚さに堆積して形成する。次いで、化学的気相成長法によって、上記ビアホール48および上記配線溝49を埋め込むように、配線材料として、例えばタングステンを堆積する。その後、化学的機械研磨によって、第3の絶縁膜431上に堆積した余剰のタングステンとバリア金属層とを除去して、上記配線溝49内にバリア金属層を介してタングステンより成る書き込みワード線11、第2の配線35を形成するとともに、上記ビアホール48内にバリア金属層を介してタングステンより成るブラグ50を形成する。

【0066】その後、上記第3の絶縁膜431上に上記書き込みワード線11、第2の配線35等を覆う上層部分の第3の絶縁膜43（432）を、例えばP-TEOS膜を例えば100nmの厚さに堆積して形成する。こ



のように、書き込みワード線11、第2の配線35等を覆う第3の絶縁膜43が形成される。

【0067】上記工程で形成される書き込みワード線11の材料には、例えば、PVD法もしくはCVD法によって成膜される、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタントリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなる金属膜、もしくは複数種からなる合金膜を用いることができる。

【0068】次いで、図7の(2)に示すように、レジスト塗布工程、リソグラフィー工程により、上記第3の絶縁膜43上にマスクを形成した後、そのマスクを用いてエッチングにより第2の配線35と接続するビアホール51を形成する。

【0069】続いて、PVD法によって、バリア層315、反強磁性体層305、強磁性体からなる磁化固定層302、トンネル絶縁層303、強磁性体からなる記憶層304、キャップ層313を順次成膜する。

【0070】上記バリア層315には、例えば、窒化チタン、タンタルもしくは窒化タンタルを用いることができる。上記反強磁性体層305には、例えば、鉄・マンガ、ニッケル・マンガ、白金・マンガ、イリジウム・マンガ等のマンガ合金を用いることができる。

【0071】強磁性体からなる上記磁化固定層302には、例えば、ニッケル・鉄、コバルト・鉄等の合金材料を用いることができる。この磁化固定層302は反強磁性体層65との交換結合によって、磁化の方向がピンギ(pinning)される。

【0072】上記トンネル絶縁層303には、例えば、酸化アルミニウムが用いられる。このトンネル絶縁層303は、通常、0.5nm~5nm程度の非常に薄い膜で形成される必要があるため、例えば、ALD(Atomic Layer Deposition)法、もしくはスパッタリングによる成膜後にプラズマ酸化して形成する。

【0073】強磁性体からなる上記記憶層304には、例えば、ニッケル・鉄、コバルト・鉄等の合金材料を用いることができる。この記憶層304は、TMR素子13の外部印加磁場によって、磁化の方向が磁化固定層302に対して平行もしくは反平行に変えることができる。

【0074】上記キャップ層313は、例えば、タングステン、タンタル、窒化チタン等で形成することができる。

【0075】次いで、図7の(3)に示すように、レジスト塗布工程、リソグラフィー工程により、上記キャップ層313上にマスクを形成した後、そのマスクを用いてエッチングにより上記キャップ層313~上記バリア層315を加工して、TMR素子13を形成する。エッチングの終点は、酸化アルミニウム膜からなるトンネル絶縁膜303から最下層の反強磁性体層305の途中で

終わるように設定する。図面では反強磁性体層305上でエッチングが終了している。このエッチングには、エッチングガスとして例えば塩素(C1)を含んだハロゲンガスもしくは一酸化炭素(CO)にアンモニア(NH<sub>3</sub>)を添加したガス系を用いる。

【0076】次いで、レジスト塗布技術とリソグラフィー技術とによって、レジストマスクを形成し、それを用いた反応性イオンエッチングにより、残りのTMR材料を加工して、TMR素子13と第2の配線35とを接続するバイパス線317をTMR積層膜の一部を用いて形成する。ここでは、主として反強磁性体層305とバリア層315とで形成する。

【0077】次に、図7の(4)に示すように、CVD法もしくはPVD法によって、全面に酸化シリコンもしくは酸化アルミニウム等からなる第4の絶縁膜44を堆積した後、化学的機械研磨によって、その堆積した第4の絶縁膜44表面を平坦化するとともに、TMR素子13の最上層のキャップ層313を露出させる。

【0078】次いで、標準的な配線形成技術によって、ビット線12および周辺回路の配線(図示せず)、ボンディングパッド領域(図示せず)を形成する。さらに全面にプラズマ窒化シリコン膜からなる第5の絶縁膜45を形成した後、上記ボンディングパッド部分(図示せず)を開口して、LSIのウエハプロセス工程を完了させる。

【0079】上記磁気メモリ装置の製造方法では、TMR素子13を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線12および書き込みワード線11の少なくとも一方(上記説明では書き込みワード線11)を、高融点・高抵抗金属で形成することから、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、TMR素子13も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界H<sub>SW</sub>を下げる可以降低ことができる磁気メモリ装置1を形成される。

【0080】なお、図8の書き込みワード線の斜視図に示すように、書き込みワード線11の抵抗を上昇させるためには、TMR素子13の直下付近の書き込みワード線11を細らせて形成するようにしてもよい。

【0081】次に、本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第2の実施の形態を、図9の製造工程断面図によって説明する。

【0082】まず、図示はしないが、半導体基板には、読み出しトランジスタを備えた読み出し回路、それを覆う第1の絶縁膜等が形成されている。そして図9の(1)に示すように、第1の絶縁膜41上には第1の配線31、センス線(図示せず)等が形成されている。この第1の絶縁膜41上に、例えばテトラエトキシシランを原料に用いたプラズマCVD法により、上記第1の配線31、センス線(図示せず)等を覆う酸化シリコン

(P-TEOS)膜421を例えば100nmの厚さに成膜し、次いで高密度プラズマCVD法により、酸化シリコン(HDP)膜422を例えば800nmの厚さに成膜し、さらに酸化シリコン(P-TEOS)膜423を例えば1200nmに厚さに成膜して、第2の絶縁膜42を形成する。その後、例えば化学的機械研磨によって、上記第1の配線31上に例えば700nmの厚さの膜厚を残すように、上記第2の絶縁膜42を研磨する。

【0083】次に、上記平坦化された上記第2の絶縁膜42上に、例えばプラズマCVD法により、エッチングストッパ層47を、例えば窒化シリコン(P-SiN)膜を例えば20nmの厚さに成膜して形成する。その後、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、上記エッチングストッパ層47にビアホールパターンを開口する。

【0084】次いで、上記ビアホールパターンを埋め込むように上記エッチングストッパ層47上にP-TEOS膜を例えば300nmの厚さに成膜して、第3の絶縁膜43(431)を形成する。その後、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第3の絶縁膜431に配線溝49を形成するとともに上記第1の配線31に達するビアホール48を再び開口する。このエッチング工程は、窒化シリコンに対して酸化シリコンが選択的にエッチングされる条件で行う。

【0085】次いで、PVD法によって、上記ビアホール48および上記配線溝49を埋め込むように金属多層膜を、例えばチタン膜を10nmの厚さに堆積し、続いて窒化チタン膜を30nmの厚さに堆積した後、アルミニウム銅合金(例えばAl-0.5%Cu)膜を例えば700nmの厚さに形成する。その後、化学的機械研磨によって、第3の絶縁膜431上に堆積した余剰の金属多層膜を除去して、上記配線溝49内に金属多層膜より成る第2の配線35を形成するとともに、上記ビアホール48内に金属多層膜より成るプラグ50を形成する。

【0086】次に、図9の(2)に示すように、上記第3の絶縁膜431上に上記第2の配線35を覆うバリア金属層(図示せず)を、例えば窒化チタンを例えば20nmの厚さに堆積して形成する。さらに化学的気相成長法によって、高融点・高抵抗金属層92を、例えばタングステンを例えば200nmの厚さに成膜して形成する。次いで、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、上記高融点・高抵抗金属層92およびバリア金属層を加工して、高融点・高抵抗金属層92を主配線材料とする書き込みワード線11を形成するとともに、上記第2の配線35上にも高融点・高抵抗金属層92を形成する。以下、上記第2の配線35上に形成された高融点・高抵抗金属層92を含めて第2の配線35とする。次いで、上記書き込みワード線11および上記第2の配線35を覆う上層部分の第3の絶縁膜432を、例えばP-TEOS膜を500nmの厚さに

堆積して形成する。このようにして、第3の絶縁膜43を構成する。

【0087】その後、化学的機械研磨によって、上記高融点・高抵抗金属層92上に第3の絶縁膜43が残るように第3の絶縁膜43表面を平坦化する。このような構成では、後に形成するTMR素子13の直下における書き込みワード線11は、バリア金属層とタングステン膜とで形成されるので、抵抗が高くなり、書き込みワード線11に電流を流した場合、この部分が局所的に発熱を起こして加熱される。

【0088】上記製造方法では、配線材料にCVD法により成膜されるタングステンをを用いたが、例えば、PVD法もしくはCVD法によって成膜される、イリジウム、オスmium、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタントリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなる金属膜、もしくは複数種からなる合金膜を用いることができる。

【0089】次いで、図9の(3)に示すように、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程により、上記第3の絶縁膜43上にマスクを形成した後、そのマスクを用いてエッチングにより第2の配線35と接続するビアホール51を形成する。

【0090】続いて、PVD法によって、バリア層315、反強磁性体層305、強磁性体からなる磁化固定層302、トンネル絶縁層303、強磁性体からなる記憶層304、キャップ層313を順次成膜する。

【0091】上記バリア層315には、例えば、窒化チタン、タンタルもしくは窒化タンタルを用いることができる。上記反強磁性体層305には、例えば、鉄・マンガ、ニッケル・マンガ、白金・マンガ、イリジウム・マンガ等のマンガ合金を用いることができる。

【0092】強磁性体からなる上記磁化固定層302には、例えば、ニッケル・鉄、コバルト・鉄等の合金材料を用いることができる。この磁化固定層302は反強磁性体層65との交換結合によって、磁化の方向がピンギ(pinning)される。

【0093】上記トンネル絶縁層303には、例えば、酸化アルミニウムが用いられる。このトンネル絶縁層303は、通常、0.5nm~5nm程度の非常に薄い膜で形成される必要があるため、例えば、ALD(Atomic Layer Deposition)法、もしくはスパッタリングによる成膜後にプラズマ酸化して形成する。

【0094】強磁性体からなる上記記憶層304には、例えば、ニッケル・鉄、コバルト・鉄等の合金材料を用いることができる。この記憶層304は、TMR素子13の外部印加磁場によって、磁化の方向が磁化固定層302に対して平行もしくは反平行に変えることができる。

【0095】上記キャップ層313は、例えば、タング

ステン、タンタル、窒化チタン等で形成することができる。

【0096】次いで、図9の(4)に示すように、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程により、上記キャップ層313上にマスクを形成した後、そのマスクを用いてエッチングにより上記キャップ層313～上記バリア層315を加工して、TMR素子13を形成する。エッチングの終点は、酸化アルミニウム膜からなるトンネル絶縁膜303から最下層の反強磁性体層305の途中で終わるように設定する。図面では反強磁性体層305上でエッチングが終了している。このエッチングには、エッチングガスとして例えば塩素(Cl)を含んだハロゲンガスもしくは一酸化炭素(CO)にアンモニア(NH<sub>3</sub>)を添加したガス系を用いる。

【0097】次いで、レジスト塗布技術とリソグラフィ技術とによって、レジストマスクを形成し、それを用いた反応性イオンエッチングにより、残りのTMR材料を加工して、TMR素子13と第2の配線35とを接続するバイパス線317をTMR積層膜の一部を用いて形成する。ここでは、主として反強磁性体層305とバリア層315とで形成する。

【0098】次に、図9の(5)に示すように、CVD法もしくはPVD法によって、全面に酸化シリコンもしくは酸化アルミニウム等からなる第4の絶縁膜44を堆積した後、化学的機械研磨によって、その堆積した第4の絶縁膜44表面を平坦化するとともに、TMR素子13の最上層のキャップ層313を露出させる。

【0099】次いで、標準的な配線形成技術によって、ビット線12および周辺回路の配線(図示せず)、ボンディングパッド領域(図示せず)を形成する。さらに全面にプラズマ窒化シリコン膜からなる第5の絶縁膜45を形成した後、上記ボンディングパッド部分(図示せず)を開口して、LSIのウエハプロセス工程を完了させる。

【0100】上記磁気メモリ装置の製造方法では、TMR素子13を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線12および書き込みワード線11の少なくとも一方(上記説明では書き込みワード線11)の一部分、すなわち、書き込みワード線11のうち、TMR素子13の下方の部分を、高融点・高抵抗金属で形成することから、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、TMR素子13も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界H<sub>SW</sub>を下げることができる磁気メモリ装置1を形成される。

【0101】なお、図10の書き込みワード線の斜視図に示すように、書き込みワード線11の抵抗を上昇させるためには、TMR素子13の上方付近の書き込みワード線11の線幅を細らせて形成するようにしてもよい。なお、図面では、書き込みワード線11の配線部分は高

融点・高抵抗金属層92で形成され、その下部は第3の絶縁膜43(431)が形成され、書き込みワード線11の電極部分11eは高融点・高抵抗金属層92とアルミニウム合金を主とした金属多層膜で形成されているものを示した。

【0102】次に、本発明の磁気メモリ装置の製造方法に係る第3の実施の形態を、図10によって説明する。

【0103】上記第1の実施の形態および第2の実施の形態では、書き込みワード線11全体もしくは一部を抵抗の高い高融点金属で形成して、発熱が促進される構造に形成したが、ビット線全体もしくはその一部を同様な発熱構造に形成してもよい。また、書き込みワード線11とビット線13の両方を、その全体もしくは各一部を同様な発熱構造に形成してもよい。

【0104】ここでは、本発明の磁気メモリ装置の製造方法に係る第3の実施の形態として、ビット線の一部を高融点金属で形成する製造方法を、図11の概略構成断面図によって説明する。以下の説明では、前記図1、図5で説明した構成部品と同様のものには同一符号を付与した。

【0105】TMR素子13の形成までは、第1の実施の形態と同様の製造工程を経る。ここではTMR素子13を形成した後の工程を説明する。

【0106】図11に示すように、CVD法もしくはPVD法によって、第3の絶縁膜43を酸化シリコン膜もしくは酸化アルミニウム膜で形成した後、化学的機械研磨によって、その第3の絶縁膜43の表面を平坦化するとともにTMR素子13の最上層のキャップ層313を露出させる。

【0107】次いで、上記第3の絶縁膜43上に上記キャップ層313を覆うバリア金属層(図示せず)を、例えば窒化チタン膜を例えば20nmの厚さに堆積して形成する。さらに化学的気相成長法によって、タングステン膜94を例えば500nmの厚さに形成する。

【0108】次いで、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、タングステン膜94を主配線材料とするビット線12および第3の配線(図示せず)およびボンディングパッド領域(図示せず)を形成する。上記第1、第2の実施の形態で説明したように、抵抗をさらに上昇させるために、TMR素子13上のビット線12の線幅を細らせて形成してもよい。

【0109】この製造方法では、タングステン膜をCVD法により成膜したが、例えば、PVD法もしくはCVD法によって成膜される、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタニウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなる金属膜、もしくは複数種からなる合金膜を用いることができる。さらに全面に第4の絶縁膜44を、例えばプラズマ窒化シリコンを堆積して形成した後、上記ボンディングパッド部

分を開口して、LSIのウエハプロセス工程を完了させる。

【0110】次に、本発明の磁気メモリ装置の製造方法に係る第4の実施の形態を、図12によって説明する。

【0111】TMR素子13の形成までは、第1の実施の形態と同様の製造工程を経る。ここではTMR素子13を形成した後の工程を説明する。

【0112】図12の(1)に示すように、CVD法もしくはPVD法によって、第3の絶縁膜43を酸化シリコン膜もしくは酸化アルミニウム膜で形成した後、化学的機械研磨によって、その第3の絶縁膜43の表面を平坦化するとともにTMR素子13の最上層のキャップ層313を露出させる。

【0113】次いで、上記第3の絶縁膜43上に上記TMR素子13のキャップ層(図示せず)を覆うバリアメタル層(図示せず)を、例えば窒化チタン膜を例えば20nmの厚さに堆積して形成する。さらに化学的気相成長法によって、高融点・高抵抗金属層94を、例えばタングステンを例えば200nmの厚さに堆積して形成する。

【0114】次いで、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、高融点・高抵抗金属層94を主配線材料とするビット線12および周辺回路配線(図示せず)およびボンディングパッド領域(図示せず)を形成する。前記図7、図9で説明した書き込みワード線11と同様に、ビット線12の抵抗をさらに上昇させるために、TMR素子13直上におけるビット線12の線幅を、その他の部分よりも細らせて形成してもよい。

【0115】この製造方法では、高融点・高抵抗金属層94として、タングステンをCVD法により成膜したが、例えば、PVD法もしくはCVD法によって成膜される、イリジウム、オスミウム、クロム、ジルコニウム、タングステン、タンタル、チタントリウム、バナジウム、モリブデン、ロジウム、ニッケルおよびルテニウムのうちの1種からなる金属膜、もしくは複数種からなる合金膜を用いることができる。

【0116】次いで、上記第3の絶縁膜43上に、上記ビット線12および周辺回路配線(図示せず)およびボンディングパッド領域(図示せず)を覆う第4の絶縁膜44を、例えばP-TEOS膜を例えば500nmの厚さに堆積して形成する。その後、化学的機械研磨によって、第4の絶縁膜44の表面を平坦化する。

【0117】次いで、図12の(2)に示すように、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、TMR素子13直上付近を除く上記ビット線12上における第4の絶縁膜44および周辺回路配線(図示せず)およびボンディングパッド領域(図示せず)上における第4の絶縁膜44をエッチングして除去する。

【0118】次いで、図12の(3)に示すように、チ

タン膜、窒化チタン膜、アルミニウム膜もしくはアルミニウム銅合金膜からなる配線材料層96を形成し、例えば化学的機械研磨によって、第4の絶縁膜44上の余剰な配線材料層96を除去して、配線溝内に上記配線材料層96からなる配線を形成する。このようにして、TMR素子13上が高融点・高抵抗金属層94からなり、それ以外の部分が高融点・高抵抗金属層94と低抵抗な配線材料層96とからなるビット線12が形成されるとともに、高融点・高抵抗金属層94と配線材料層96とからなる周辺回路配線(図示せず)およびボンディングパッド領域(図示せず)が形成される。

【0119】次いで、上記第4の絶縁膜44上に上記各配線を覆う第5の絶縁膜45を、例えばプラズマ窒化シリコン膜を堆積して形成する。その後、レジスト塗布工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を経て、ボンディングパッド部(図示せず)を開口して、LSIのウエハプロセス工程を完了させる。なお、第5の絶縁膜45を形成する前に第4の絶縁膜44を除去してもよい。

【0120】

【発明の効果】以上、説明したように本発明の磁気メモリ装置によれば、トンネル磁気抵抗素子を間にして立体的に交差するように配置されたビット線および書き込みワード線のうちの少なくとも一方における少なくともトンネル磁気抵抗素子に対向する部分が、高融点・高抵抗金属で形成されていることから、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱する。そのため、トンネル磁気抵抗素子も加熱されるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げることができる。すなわち、磁化の方向が反転しやすくなるため、書き込みに要する消費電流を抑えることができ、低消費電力の磁気ランダムアクセスメモリを構成することができる。

【0121】また、配線の電流密度も低減されるため、高信頼性の磁気ランダムアクセスメモリの高集積回路が実現できる。また素子の微細化で増加する反転磁界も低減されるため、磁気ランダムアクセスメモリの集積度の向上が可能になる。

【0122】本発明の第1の磁気メモリ装置の書き込み方法によれば、トンネル磁気抵抗素子の少なくともその周囲の一部分を加熱することにより、トンネル磁気抵抗素子自体の温度を高め、反転磁化を低下させることにより書き込みを行うので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げることができる。そのため、書き込みに要する消費電流を抑えることができるので、書き込みが容易にできるようになる。

【0123】本発明の第2の磁気メモリ装置の書き込み方法によれば、トンネル磁気抵抗素子自体を加熱することにより、磁化反転磁界を低下させることにより書き込みを行うことから、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げるができる。そのため、書き込みに要する消費電

流を抑えることができるので、書き込みが容易にできるようになる。

【0124】本発明の磁気メモリ装置の製造方法によれば、トンネル磁気抵抗素子を挟んでかつ立体交差するように形成されるビット線および書き込みワード線の少なくとも一部を、高融点・高抵抗金属で形成するので、電流を流した場合に、高融点・高抵抗金属で形成されている部分がジュール発熱を起こし、その周囲を加熱することができる。そのため、トンネル磁気抵抗素子を加熱することができるようになるので、磁化困難軸方向の反転磁界 $H_{SW}$ を下げる可以降低ことができる磁気メモリ装置を形成することができる。よって、書き込みに要する消費電流を抑えることができるので、低消費電力の磁気ランダムアクセスメモリを構成することができるようになる。

【0125】また、配線の電流密度も低減されるため、高信頼性の磁気ランダムアクセスメモリの高集積回路を製造することができる。また素子の微細化で増加する反転磁界も低減されるため、磁気ランダムアクセスメモリの集積度の向上が可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気メモリ装置に係る一実施の形態を示す図1の概略構成断面図である。

【図2】一般的なMRAM (Magnetic Random Access Memory) を示す主要部を簡略化して示した概略構成斜視図である。

【図3】容易軸方向磁界 $H_{EA}$  および困難軸方向磁界 $H_{HA}$  による記憶層磁化方向の反転しきい値を示すアステロイド曲線である。

【図4】図2のMRAMの原理回路を示す回路図である。

【図5】トンネル磁気抵抗素子を示す斜視図である。

【図6】本発明の磁気メモリ装置の第2の書き込み方法に係る一実施の形態を説明する概略構成斜視図である。

【図7】本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第1の実施の形態を示す製造工程断面図である。

【図8】製造方法の第1の実施の形態に係る書き込みワード線の斜視図である。

【図9】本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第2の実施の形態を示す製造工程断面図である。

【図10】製造方法の第1の実施の形態に係る書き込みワード線の斜視図である。

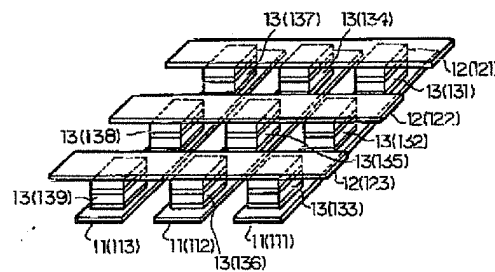
【図11】本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第3の実施の形態を示す製造工程断面図である。

【図12】本発明における磁気メモリ装置の製造方法に係る第4の実施の形態を示す製造工程断面図である。

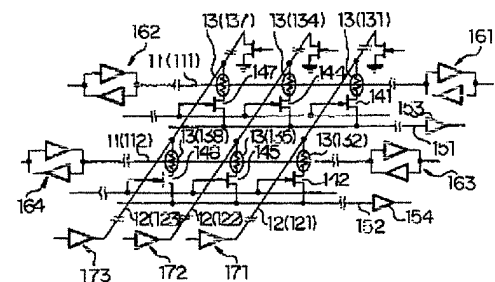
#### 【符号の説明】

1…磁気メモリ装置、11…書き込みワード線、12…ビット線、13…トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子、302…磁化固定層、303…トンネル絶縁層、304…記憶層

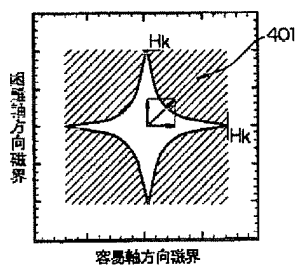
【図2】



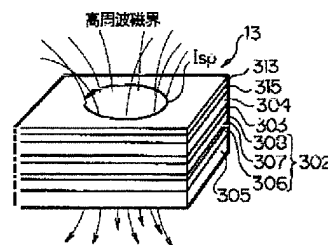
【図4】



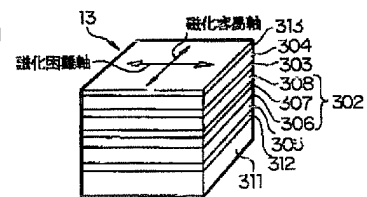
【図3】



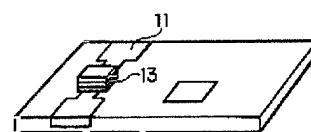
【図6】



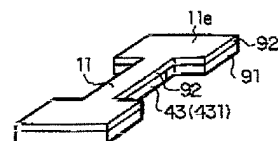
【図5】



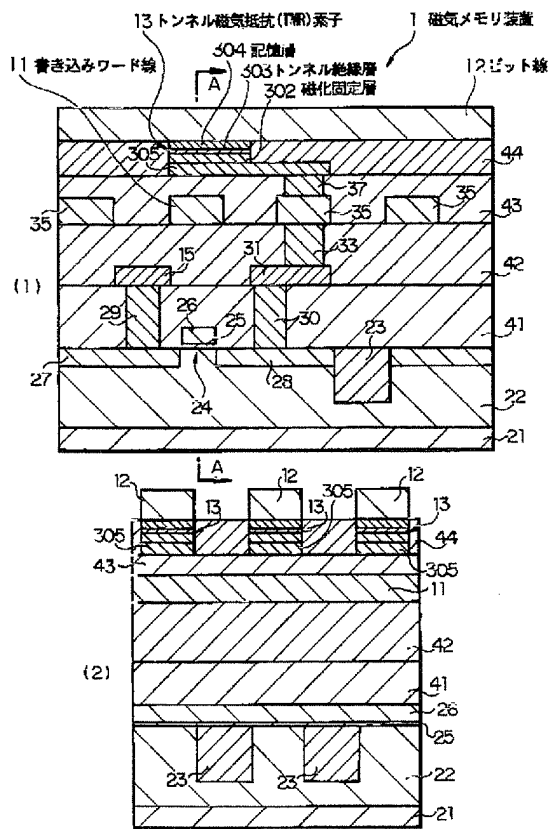
【図8】



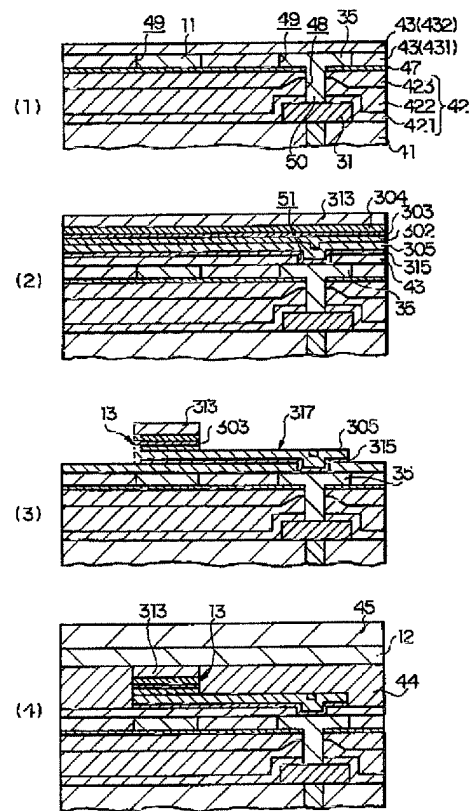
【図10】



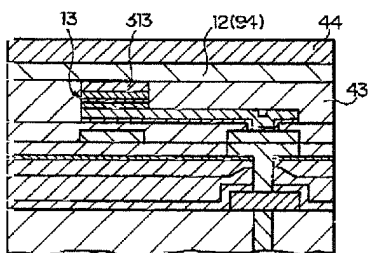
【図1】



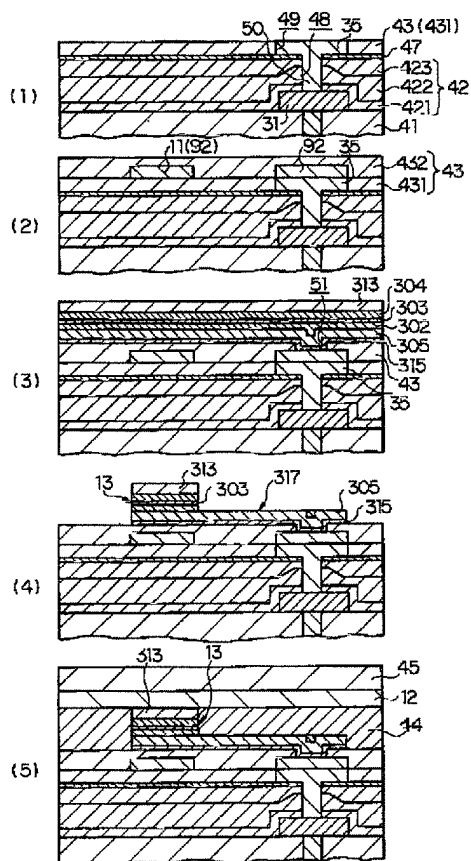
【図7】



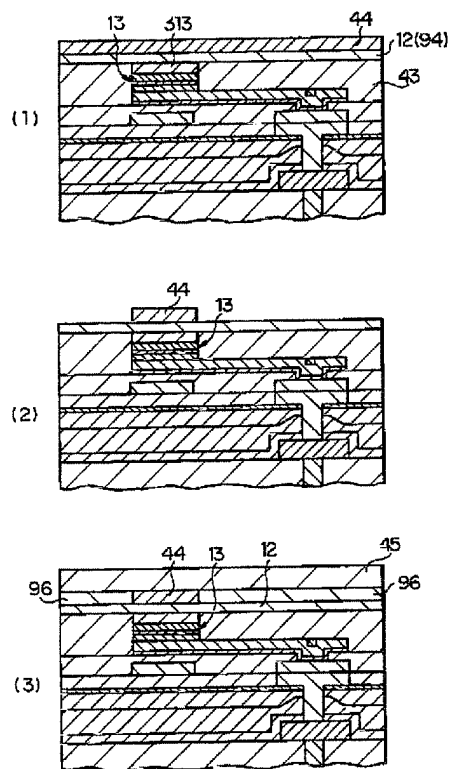
【図11】



【図9】



【図12】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F083 FZ10 JA36 JA37 JA38 JA39  
JA40 JA56 KA01 KA05 KA20  
MA06 MA16 MA19 NA01 PRO6  
PR40